

ANALISIS KESETIMBANGAN ADSORPSI DAN KURVA *BREAKTHROUGH* PADA PROSES DEHIDRASI BIOETANOL MENJADI *FUEL GRADE ETHANOL (FGE)* MENGGUNAKAN ADSORBEN ZEOLIT ALAM MALANG

Suratno Lourentius

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala
Jl. Kalijudan 37 Surabaya 60114, e-mail: suratno.lourentius@yahoo.co.id

Abstrak

Kebutuhan premium sekarang ini mencapai 66.937 kliter/hari atau melebihi kuota premium yang sebesar 63.536 kliter/hari. Kebutuhan akan bioetanol saat ini cukup besar mencapai 1,82 juta kliter. Berkenaan dengan menipisnya sumber energi fosil tersebut, untuk mengantisipasi kebutuhan akan energi pada masa mendatang yang makin lama makin meningkat, maka perlu dicari alternatif bahan bakar pengganti, misalnya biodiesel dan bioetanol. Bahan baku untuk memproduksi bioetanol antara lain: ubi kayu, ubi jalar, jagung, sagu, tetes dan tebu. Bioetanol tersebut memiliki konsentrasi sekitar 95% v/v dan disebut etanol terhidrat. Bioetanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar memiliki konsentrasi >99,5% v/v dan disebut fuel grade ethanol (FGE).

Kendala yang dihadapi dalam memproduksi FGE adalah biaya investasi yang tinggi. Biaya investasi yang tinggi ini berkaitan dengan pemurnian bioetanol 95% menjadi FGE. Dalam penelitian ini hendak diteliti pemanfaatan zeolit alam Malang sebagai adsorben pada dehidrasi bioetanol menjadi FGE. Disamping itu hendak diteliti kurva kesetimbangan adsorpsi, dan kurva breakthrough untuk adsorpsi unggun tetap. Kedua hal tersebut dibutuhkan untuk perancangan peralatan pemurnian bioetanol 95% menjadi FGE yang lebih efektif dan efisien.

Adsorben zeolit alam Malang setelah dipreparasi mengandung oksida-oksida logam sebagai berikut: SiO₂ (42,2%), CaO (37,5%), Fe₂O₃ (9,88%) dan oksida-oksida logam lain. Persamaan hubungan kesetimbangan mengikuti persamaan Freunlich.

Kata Kunci: *bioetanol, FGE, adsorpsi, kesetimbangan, kurva breakthrough*

1. PENDAHULUAN

Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyebutkan sepanjang tahun 2010, konsumsi premium 23 juta kilo liter atau 7 persen di atas kuota, solar 12,8 juta kilo liter atau 14 persen di atas kuota, dan minyak tanah 2,4 juta kilo liter atau 37 persen di bawah kuota karena terkonversi ke elpiji. Dari sumber yang sama hingga 16 Maret 2011, kebutuhan premium mencapai 66.937 kilo liter per hari atau melebihi kuota premium yang sebesar 63.536 kilo liter per hari, konsumsi solar sebesar 35.839 kilo liter per hari yang melebihi kuota sebesar 35.849 kilo liter per hari (Kementerian ESDM, 2011). Berdasarkan data di atas, kebutuhan akan bensin atau premium menduduki peringkat pertama terbesar dan kebutuhan tersebut akan terus meningkat.

Berkenaan dengan menipisnya sumber energi fosil tersebut, untuk mengantisipasi kebutuhan akan energi pada masa mendatang yang makin lama makin meningkat tersebut, maka perlu dicari alternatif bahan bakar pengganti, misalnya biodiesel dan bioetanol. Penggunaan biodiesel dan bioetanol akan menghemat pemakaian solar/biodiesel dan bensin. Produksi etanol Indonesia sebagian besar diserap oleh pasar domestik untuk industri kimia, industri farmasi, industri rokok kretek, industri kosmetika, industri tinta dan percetakan dan industri meubel serta sisanya diekspor. Etanol tersebut memiliki konsentrasi sekitar 95% v/v dan disebut etanol terhidrat. Bioetanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar memiliki konsentrasi > 99,5% v/v dan ini disebut *fuel grade ethanol (FGE)* dan disebut etanol anhidrat. Pencampuran 5% FGE dengan 95% premium akan membentuk biopremium. Biopremium tersebut oleh Pertamina telah diproduksi dengan kode E-5. Menurut Rencana Strategis Bioetanol pada tahun 2009 ditargetkan penanaman 1,0 juta hektar untuk tebu dan singkong yang akan memproduksi energi 4,54 juta kiloliter. Biopremium tersebut terformulasi sebagai E-5 dan E-15 dan merupakan 2% dari kebutuhan energi mix (Prihandono, 2007).

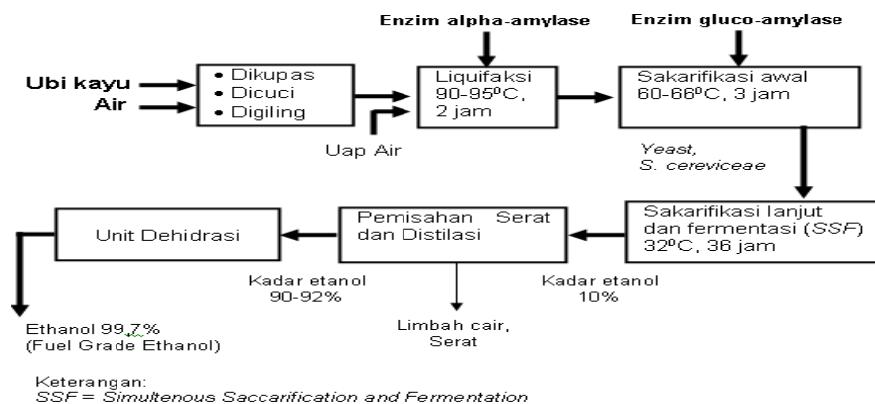
Pada proses pemurnian bioetanol menjadi FGE yang selama ini dilaksanakan menggunakan adsorben *molecular sieve (MS)* yang masih diimpor. Potensi tambang di Indonesia khususnya Malang memiliki bahan

tambang zeolit yang cukup banyak dan belum dimanfaatkan secara maksimal serta bisa dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti adsorben untuk keperluan tersebut. Zeolit merupakan bahan tambang yang terdapat di berbagai daerah: Malang, Lampung, Jawa barat dan Mamasa – Majene, Sulawesi Barat. Potensi zeolit asal Mamasa-Majene, 43.457.600 ton (Anonim, 2010). Sementara, untuk Malang potensi tambang zeolit berkisar

dari 3,2 sampai 4,8 juta ton. Namun bahan tambang tersebut sampai kini belum dimanfaatkan secara maksimal (Kiswara, 2010). Oleh karena itu dalam penelitian ini hendak diteliti preparasi, zeolit alam asal Malang sebagai adsorben untuk dehidrasi bioetanol, kurva kesetimbangan adsorpsi dan kurva *breakthrough*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Proses pembuatan bioetanol *FGE* dari bahan baku ubi kayu digambarkan dalam diagram alir Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Blok Produksi *Fuel Grade Ethanol (FGE)* dari Ubi Kayu

Pemurnian bioetanol dengan dehidrasi

Dehidrasi dengan adsorpsi biaya operasi menjadi lebih murah, karena tanpa solven, dan alatnya lebih sederhana karena dilaksanakan pada suhu rendah. Meskipun cara ini lebih murah, namun masih sangat jarang pabrik etanol di Indonesia yang menerapkan cara ini (Madson dan Monceoux, 2003). Proses pemurnian dengan cara ini relatif sederhana dan sudah diterapkan di Brazilia sejak tahun 1993 yang lalu.

Zeolit untuk dehidrasi etanol

Banyak produk seperti alumina, silica, dan *molecular sieve* dan zeolit dapat digunakan untuk mengadsorpsi air pada proses pengeringan yang biasanya dapat diregenerasi secara konvensional. Di samping itu juga aluminium oksida, silica gel, karbon aktif, dan montmorillonite. Mineral zeolit bukan merupakan mineral tunggal, melainkan sekelompok mineral yang terdiri dari beberapa jenis unsur. Secara umum mineral zeolit adalah senyawa alumino silikat hidrat dengan logam alkali tanah serta mempunyai rumus kimia sebagai berikut: $M_{x/n}^{+} Si_{1-x} Al_x O_2 \cdot yH_2O$, dengan M = misal Na, K, Li, Ag, NH, H, Ca, Ba, ...

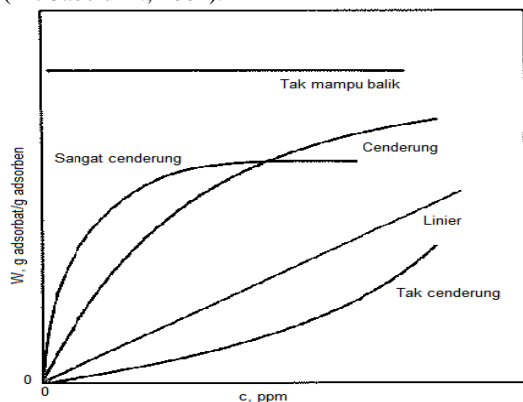
Ikatan ion Al-Si-O adalah pembentuk struktur kristal, sedangkan logam alkali adalah kation yang mudah tertukar (*exchangeable cation*). Jumlah molekul air menunjukkan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan. Sekarang ini lebih dari 40 zeolit alam maupun 150 tipe yang artifisial telah digunakan dalam berbagai bidang berdasarkan publikasi *International Zeolite Association*. Pada struktur zeolit, semua atom Al dalam bentuk terahedra sehingga atom Al akan bermuatan negatif karena berkoordinasi dengan 4 atom oksigen dan selalu dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah untuk mencapai senyawa yang stabil. Lain halnya dengan batuan lempung (*clay materials*) dengan struktur lapisan, di mana sifat pertukaran ionnya disebabkan oleh 1) *broken bonds* yaitu makin kecil partikel penyerapan makin besar, 2) gugus hidroksid yang mana atom hidrogen dapat digantikan dengan kation lain atau 3) substitusi isomorf Al pada tetrahedral Si menyebabkan ikatan Al-Si cukup kuat dan mengurangi swelling (Anonim, 2010).

Hasil penelitian terdahulu untuk proses dehidrasi air dalam bioetanol menggunakan adsorben *molecular sieve*, tepung singkong dan tepung gayong telah dilaksanakan oleh Siagian. Pada kondisi *breakthrough*, kapasitas serap rata-rata dari *molecular sieve*, tepung singkong dan tepung ganyong adalah 9,25, 2,46 dan 1,55 g H₂O/g adsorben (Siagian, 2006).

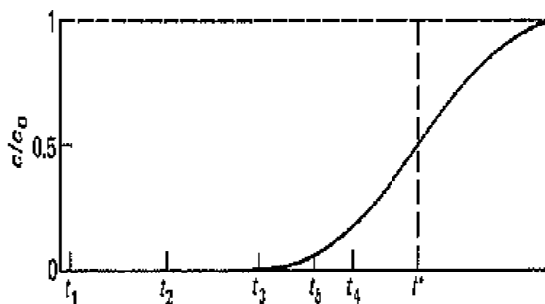
Kesetimbangan; Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi ialah hubungan kesetimbangan antara konsentrasi dalam fase fluida dan konsentrasi di dalam partikel adsorben pada suhu tertentu. Untuk cairan, konsentrasi itu dinyatakan dalam satuan fraksi massa, seperti bagian per sejuta (*parts per million, ppm*). Konsentrasi adsorbat pada adsorben dinyatakan sebagai massa yang teradsorpsi (adsorbat) per satuan massa adsorben semula.

Beberapa contoh bentuk isotherm ditunjukkan dalam grafik aritmatik pada Gambar 2. Isoterm linier mengikuti garis lurus melalui sumbu, koordinat, dan kuantitas yang diadsorpsi dalam hal ini sebanding dengan konsentrasi di dalam fluida. Isoterm yang cembung ke atas dikatakan cenderung (*favorable*) karena di sini bisa didapatkan kapasitas adsorben yang relatif tinggi dengan konsentrasi fluida yang rendah. Isoterm Langmuir $W = bc/(1 + Kc)$, di mana w adalah konsentrasi adsorbat dalam adsorben, c konsentrasi di dalam fluida, dan b dan K konstanta, adalah jenis yang cenderung bila $Kc \gg 1$, isoterm itu sangat cenderung, sedangkan bila $Kc < 1$, isoterm itu mendekati mendekati linier. Sayang sekali, isoterm Langmuir, yang dasar teoritisnya sederhana, tidak menunjukkan kecocokan dengan kebanyakan sistem adsorpsi fisis. Persamaan empiris Freundlich, $W = bc^m$, di mana $m < 1$, biasanya lebih cocok, lebih-lebih untuk adsorpsi dari zat cair (McCabe dkk., 2001).



Gambar 2. Macam-macam isoterm adsorpsi



W, waktu

Gambar 3. Kurva *breakthrough*

Kurva Breakthrough

Kurva yang terlihat pada Gambar 3 dinamakan kurva *breakthrough*. Pada waktu t_1 dan t_2 , konsentrasi ke luar praktis nol. Bila konsentrasi telah mencapai nilai batas yang diijinkan, atau *break point*, aliran dihentikan, atau dipindahkan ke adsorben segar. Sebagai titik tembus biasanya diambil 0,05 atau 0,10; dan karena hanya bagian akhir saja dari fluida yang diolah yang mempunyai konsentrasi setinggi ini, fraksi solut rata-rata yang dipisahkan sejak awal sampai *break point* ini kadang-kadang mencapai 0,99 atau lebih.

3. METODE PENELITIAN

Prosedur preparasi adsorben zeolit alam malang

- Serbuk zeolit alam diayak dengan *sieve shaker* sehingga diperoleh ukuran $- 80 + 100$ mesh;
- Sebanyak 100 gram serbuk zeolit dicampur dengan 1000 ml larutan asam sulfat 3% dalam gelas beaker selanjutnya campuran diaduk kecepatan pengaduk 150 rpm pada suhu kamar selama 3 jam;
- Zeolit alam dipisahkan dari campurannya dengan corong Buchner dan kemudian dicuci dengan akuades sebanyak 2 kali;
- Zeolit alam yang sudah dipisahkan kemudian dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 600°C selama 2 jam. Zeolit alam yang sudah dikalsinasi siap untuk dianalisis menggunakan alat XRF dan siap digunakan untuk adsorben

Metode penelitian untuk pembuatan kesetimbangan

Bahan

- Bioetanol 95% produksi PT. Molindo Raya Indonesia, Lawang, Malang;
- Zeolit alam asal Malang;
- Etanol absolut GR produksi Merck;
- Asam sulfat p.a. (*Pure Analysis*).

Alat

- Gelas beaker berkapasitas 500 ml;
- Neraca analitis;
- Corong buchner diameter 9 cm dan pompa vakum;
- Refraktometer ABBE.

Prosedur penelitian untuk kesetimbangan adsorpsi

- Ke dalam gelas beaker diisi dengan bioetanol 95% sebanyak 50 ml
- Timbang 5 gram zeolit alam dengan neraca analitis;
- Ke dalam tangki yang sudah terisi bioetanol 95% sebanyak 50 ml dimasukkan zeolit alam seberat 5 gram, selanjutnya isi gelas beaker dibiarkan selama 3 jam supaya transfer air dari bioetanol ke seluruh permukaan adsorben berakhir dan mencapai kesetimbangan. Pemilihan waktu 3 jam ditentukan berdasarkan bahwa setelah 3 jam tidak ada lagi air yang teradsorpsi.
- Bioetanol dipisahkan dari zeolit alam dengan corong buchner, selanjutnya bioetanol diencerkan terlebih dahulu sepuluh kali lebih encer dan diuji indeks biasnya dengan alat refraktometer ABBE (terlebih dahulu dibuat kurva baku kalibrasi hubungan antara konsentrasi terhadap indeks bias untuk larutan bioetanol dengan konsentrasi $\leq 10\%$);
- Timbang adsorben basah dengan neraca analitis dan catat beratnya serta tentukan kandungan air sebagai berat air/berat adsorben bebas air. Ini ditempuh dengan mengingat adsorben bersifat selektif dan hanya mengadsorpsi air saja. Dari data ini kandungan air alam adsorben dapat dihitung.
- Prosedur a sampai e diulangi untuk konsentrasi bioetanol 96, 97, 98, 99 dan 99,7%.
- Data hubungan antara konsentrasi air dalam larutan terhadap kandungan air dalam adsorben dapat ditentukan persamaan kesetimbangan adsorpsinya.

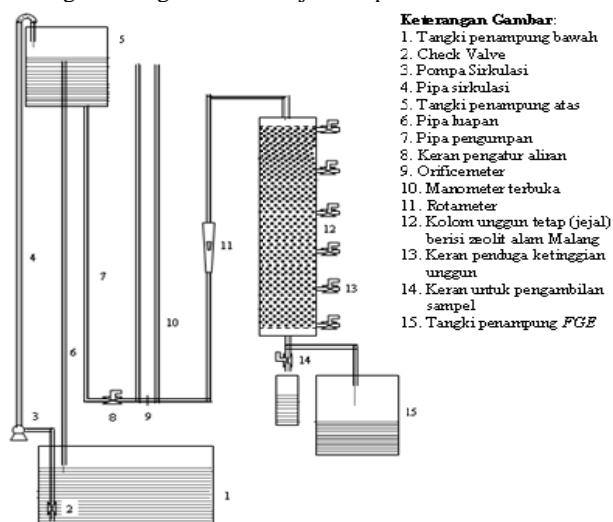
Metode penelitian untuk pembuatan kurva *breakthrough*

Bahan

- Bioetanol 95% produksi PT. Molindo Raya Indonesia, Lawang, Malang.
- Adsorben zeolit alam yang telah diaktivasi

Alat

Alat yang dipakai dirangkai sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian alat adsorpsi dalam unggun tetap zeolit menjadi FGE

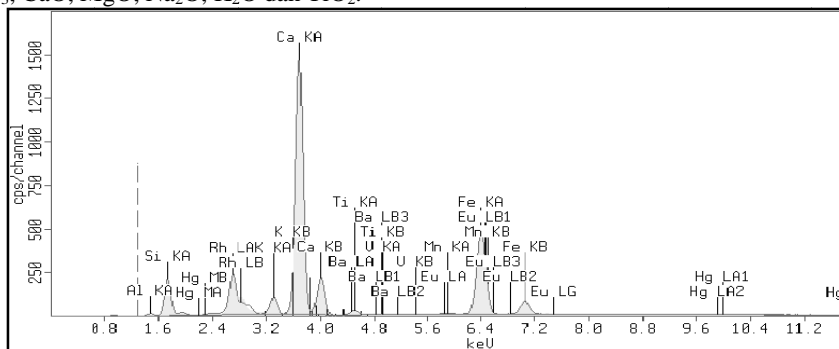
Prosedur penelitian untuk pembuatan kurva *breakthrough*

- Tangki 1 diisi dengan etanol 95% sampai hampir penuh dan selanjutnya pompa sirkulasi 3 dihidupkan;
- Setelah tangki 5 mengalami luapan, maka tangki 1 diisi lagi dengan bioetanol sampai 90% volumenya terisi;
- Bioetanol dialirkan ke dalam kolom adsorpsi unggun jejal 12 melalui pipa 7 dengan kecepatan tertentu, kecepatan diatur dengan keran 8 dan kecepatannya dibaca dengan manometer terbuka 10 dan atau rotameter 11;
- Setelah bioetanol mengalir seluruh unggun jajal, maka pada selang waktu tertentu untuk ketinggian unggun jejal (L) tertentu diambil sampel *FGE* yang keluar kolom. Pengambilan sampel dilakukan dengan syringe melalui keran 14. Setiap sampel dianalisis konsentrasi etanolnya dengan refraktometer ABBE;
- Langkah d diulangi untuk setiap selang waktu tertentu, sampai dicapai kondisi jenuh yang ditandai dengan konsentrasi bioetanol masuk = konsentrasi bioetanol keluar $c/c_0=1$. Artinya sampai dicapai adsorben dalam kondisi jenuh. Setiap sampel dianalisis konsentrasi etanolnya dengan refraktometer.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Preparasi dan karakterisasi zeolit alam Malang

Zeolit hasil kalsinasi dianalisis komposisi kimiawinya dengan alat XRF yang dimiliki oleh Laboratorium Studi Energi dan Rekayasa ITS, Surabaya. Hasil pengamatan XRF disajikan pada Gambar 5 sebagai berikut. Dari analisis XRF tersebut zeolit alam Malang mengandung oksida-oksida logam dengan komposisi sebagai berikut: SiO_2 (42,2%), CaO (37,5%), Fe_2O_3 (9,88%), Al_2O_3 (7,2%), K_2O (2,11%), TiO_2 (0,69%), BaO (0,2%), Eu_2O_3 (0,1%) dan V_2O_5 (0,02%). Hasil analisis tersebut secara kualitatif akan mirip dengan hasil analisis kualitatif bagi zeolit alam Malang yang telah dilakukan oleh Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, Pemerintah Propinsi Jawa Timur, 2002. Komposisi kimiawi zeolit alam Malang terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dan TiO_2 . telah dilakukan oleh Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, Pemerintah Propinsi Jawa Timur, 2002. Komposisi kimiawi zeolit alam Malang terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dan TiO_2 .



Gambar 5. Hasil Analisis XRF Zeolit Alam Malang

Ditinjau dari senyawa-senyawa kimiawi dalam zeolit alam Malang yang mengandung berbagai oksida-oksida logam tersebut, maka zeolit akan mampu untuk mengadsorpsi air.

Kesetimbangan Adsorpsi

Hubungan kesetimbangan antara konsentrasi air dalam larutan, c , gram air/gram larutan bioetanol terhadap konsentrasi adsorbat air dalam adsorben, W , g air/g adsorben zeolit alam hasil preparasi disajikan pada Tabel I dan Gambar 6 berikut:

Tabel I. Hubungan antara konsentrasi air dalam larutan, c , terhadap konsentrasi air dalam adsorben, w

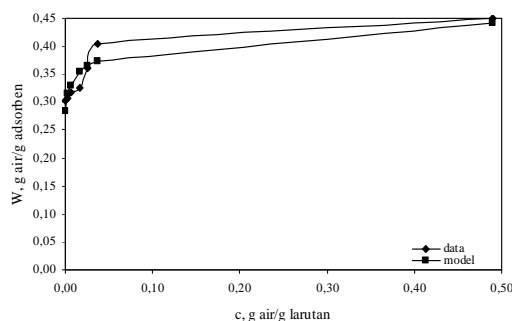
c , g air/g larutan	0,0006	0,003	0,006	0,017	0,026	0,037	0,049
W , g air/g adsorben	0,303	0,307	0,318	0,326	0,360	0,404	0,450

Setelah diolah dengan regresi linier hubungan tersebut mengikuti persamaan sebagai berikut:

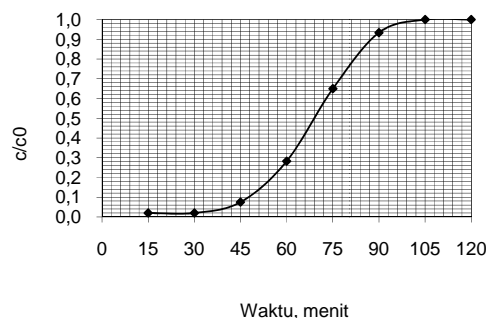
$$W = 0,4628c^{0,0657}$$

dengan ralat-rata-rata 4,6% atau cukup kecil. Hubungan tersebut sesuai dengan bentuk persamaan umum persamaan Freundlich untuk adsorpsi cairan bahwa $W=bc^m$, dengan $m<1$. Dari persamaan tersebut hanya berlaku untuk kisaran c dari 0,0006 sampai 0,049 g air/g larutan yang berkaitan dengan konsentrasi air dalam bioetanol yang akan dimurnikan. Dari tabel kesetimbangan tersebut tercermin bahwa kapasitas adsorpsi

untuk adsorben zeolit alam berkisar antara 0,303 gram air/gram adsorben sampai 0,450 gram air/gram adsorben.



Gambar 6. Hubungan Kesetimbangan Antara c Terhadap W



Gambar 7. Hubungan Antara Waktu Terhadap c/c_0 Untuk Kecepatan Umpam 2,22 ml/detik

Kurva Breakthrough

Selama proses adsorpsi di dalam unggun tetap, air dalam bioetanol akan berpindah/mentransfer dari larutan bioetanol ke dalam permukaan padatan adsorben dan pada gilirannya adsorben lama kelamaan akan mengalami kejenuhan. Kejenuhan akan bergerak mulai dari tempat pemasukan sampai ke tempat pengeluaran dan kecepatan Bergeraknya kejenuhan tersebut dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida di dalam unggun tetap. Kurva *breakthrough* digambarkan sebagai hubungan antara waktu terhadap rasio konsentrasi ke luar terhadap konsentrasi masuk: c/c_0 . Diameter kolom unggun tetap ditetapkan 3,505 cm dan tidak divariasikan. Adsorben yang digunakan berukuran -80 /+ 100 mesh, agar unggun tetap tidak dipengaruhi oleh kecepatan aliran bioetanol, maka dipilih kecepatan yang relatif rendah, dengan maksud agar bubuk adsorben tidak ada yang terikut aliran bioetanol ke luar dari unggun tetap. Kecepatan yang dipilih berkisar 2,22 ml/detik. Aliran di bawah kecepatan 2,22 ml/detik pada prakteknya tidak stabil, sedangkan aliran di atas 2,22 ml/detik dirasa kurang ekonomis untuk keperluan penelitian. Di samping itu, agar *pressure drop* dari aliran tidak tinggi, dan aliran bioetanol melalui unggun cukup stabil, maka ketinggian unggun adsorben ditetapkan 30,4 cm.

Untuk pengamatan dengan kecepatan aliran umpan bioetanol 95% berat etanol atau 5% berat air dengan kecepatan aliran volumetris 2,22 ml/detik, dengan tinggi unggun 30,4 cm dan diameter unggun 3,505 cm didapatkan kurva hubungan antara waktu terhadap c/c_0 sebagai ditunjukkan pada Tabel II dan Gambar 7 sebagai berikut.

Tabel II. Hubungan Antara Waktu Terhadap c/c_0 Untuk Kecepatan Umpam 2,22 ml/detik

Waktu, menit	15	30	45	60	75	90	105	120
c/c_0	0,02	0,20	0,08	0,28	0,65	0,93	1	1

Dari kurva di atas terlihat bahwa konsentrasi ke luar dari larutan berkisar dari 0 sampai 0,001 g air/g bioetanol atau 0,999 sampai 1 (bioetanol murni) dalam waktu pemisahan dari 0 sampai 45 menit. Pada rentang waktu 0 sampai 45 menit bioetanol yang diperoleh bias disebut sebagai *FGE*. Setelah unggun adsorben mengalami kejenuhan, unggun tidak mampu lagi untuk mengadsorpsi air dalam bioetanol sehingga konsentrasi air meningkat mulai dari waktu 30 menit sampai puncaknya pada 105 menit. Kurva *breakthrough* berbentuk huruf S, hanya saja bentuk S tidak curam, melainkan landai. Dengan demikian masih perlu dicari kondisi operasi yang memberikan huruf S yang curam sehingga lebih efisien, artinya sebagian besar dari unggun itu terpakai. Dengan kurva *breakthrough* didasarkan pada teori yang sudah dibahas dalam tinjauan pustaka dapat ditentukan kapasitas adsorpsi dari adsorben yang digunakan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kurva kesetimbangan adsorpsi air dalam bioetanol menggunakan adsorben zeolit alam Malang mengikuti persamaan Freundlich dengan persamaan: $W = 0,4628c^{0,0657}$, dengan ralat rata-rata=4,60%. Kapasitas adsorpsi pada kondisi setimbang berkisar dari 0,303 sampai 0,450 gram air/gram zeolit;
- Pada kondisi kecepatan aliran sekitar 2,22 ml/detik, diameter unggun 3,505 cm dan tinggi unggun 30,4 cm. Kurva *breakthrough* berbentuk huruf S yang miring/condong ke kanan yang mengindikasikan bahwa kondisi operasi adsorpsi kontinyu masih belum baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2010, “*Potensi Zeolit di Berbagai Daerah di Indonesia*”, www.indonesia.go.id, diakses 10 Desember 2010
- Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, 2002, “*Potensi Sumber Daya Mineral Propinsi Jawa Timur*”, hlm. 18-19, Pemerintah Propinsi Jawa Timur, Surabaya
- Kementrian ESDM, 2011, *Konsumsi Bahan Bakar di Indonesia Sampai Maret 2011*, Kementrian ESDM RI, Jakarta
- Kiswara, B.Y., 2010, Zeolit, “*Harta Karun Terpendam di Malang Selatan*” <http://beritajatim.com>, diakses 14 April 2010
- Madson, P.W. and Monceaux, D.A., 2003, “*Fuel ethanol production*”, pp.1-11, KATZEN International, Inc., Cincinnati
- McCabe, W.L., Smith, J.C., dan Harriott, P., 2001, “*Unit Operations of Chemical Engineering*”, Edisi Ketujuh, hlm. 810-837, McGraw-Hill Book Inc., New York
- Prihandono, R., Noerwijan, K., Adinurani, P.G., Setyaningsih, D., Setiadi, S. dan Hendroko, R., 2007, “*Bioetanol Ubi Kayu: Bahan Bakar Masa Depan*” hlm.25-66, Agro Media, Jakarta
- Siagian, T., 2006, “*Pengeringan Etanol Azeotropik Dengan Metode Adsorpsi*”, hlm.1-20, Tesis Magister Teknik Kimia ITB, Bandung